

〈報 告〉

心的回転課題の成績に対する回転方向の効果 ——構成行為における心的操作の観点から——*

仲 山 佳 秀**

問題と目的

心的回転 (mental rotation) 課題を用いた実験は, Shepard & Metzler (1971) の研究を嚆矢とする。彼らの実験は, 2つの立体図形の画像 (刺激) を異なる角度で呈示し, それらが同じか鏡映関係にあるかを判断させるものであった。その結果, 刺激呈示から解答までの時間 (反応時間) は, 2つの刺激の角度差が大きくなるにつれて長くなること, すなわち刺激間の角度差の一次関数になることがわかった。彼らによれば, それは課題を遂行する際に心的な回転の過程が生起していることを示唆する。この研究は, 身体的操作と心的操作との関連を実験的に示し得るものとして, 多くの研究者の関心を集めた。これを契機として, この課題の成績 (反応時間など) に関与する変数 (刺激特性や課題の実施手続き, あるいは年齢や練習など) の効果の確定 (Hertzog, Vernon, & Rypma, 1993; Wiedenbauer, Schmid, J. & Jansen-Osmann, 2007), 心的回転と他の事象 (空間的情報処理能力やラテラルリティなど) との関係の解明 (Salthouse, 1985; Sharps, 1990; Steenbergen, Nimwegen, & Céline, 2007) などを目的とする研究が行われてきた。

佐々木 (1987) によれば, 心的回転実験において反応時間が刺激間の角度差の一次関数になるという事実は, 「内的なイメージを外界にある物理的な『もの』のように, こころのなかで全体的・同時に回転させている証拠とされる」。また下條 (1981) によれば, 「メンタル・ローテーション実験の諸結果は, 一般には, 心的表象 (mental representation) ないし心的変換 (mental transformation) のアナログ的・全体的 (holistic) な性質を示唆する証拠として, 引用されることが多い」。つまり, 心的回転課題を遂行する過程で生起すると想定される心的操作は, 物理的な「もの」と類同的なイメージ (以下イメージという用語はこの意味で用いる) の回転操作である, と一般的には解釈される。ただし, 対象が手指などの身体器官である場合

※Effect of Orientations on Performance of Mental Rotation

Task: From a perspective of Mental Operation in Constructive Action

※Yoshihide NAKAYAMA 立正大学社会福祉学部社会福祉学科

キーワード: 心的回転, 構成行為, 心的操作

と、それ以外の「もの」(以下「物」とする)である場合には、回転操作に違いがあり得る。というのは後者の場合には、反応時間が刺激の角度差の一次関数になり得るのに対し、前者の場合には、反応時間と角度差とのこの直線的関係が、実際に手指が動く際の軌道、したがって身体器官の生力学的構造あるいは運動学的形状によって変化する(Parsons, 1994; 積山, 1997)からである。

物や手指のイメージを心的に回転させるということは、それらを頭の中で仮想的に動かすということであり、心的回転における最重要な問題の1つは、その心的操作が人間の行動あるいは心的過程においてどのような機能を果たしているのか、あるいはそれが他の心的操作とどのような関係にあるのか、ということであると言えよう。

中村・田中・乾(2003)によれば、それは運動制御の1側面であるフィードフォワード制御の機能を果たす心的操作である。フィードフォワード制御とは、実際のフィードバック信号(感覚信号または状態変化)を先回りして推定・予測すること(あるいはそれに基づく制御)であり、そのシステムが、脳に実装されている順モデル(forward internal model)である。

彼らはこのような理論的観点に立ち、手指構成障害を示す脳梗塞患者に心的回転を行わせた。刺激(画像)はブロック図形と右手指の2つ、回転方向は平面(前後軸のまわりの回転)と奥行き(水平軸のまわりの回転)の2つである。その結果、右手指の奥行き回転においてのみ選択的な低成績が認められた。これは、この患者が手指のフィードフォワード制御に関わる立体的な心的操作に問題をもつこと、したがって彼の手指構成障害が身体順モデルの機能障害に起因することを示唆する。

身体順モデルまたは順モデルの機能障害というのは構成障害の要因としては新たに登場したものであり(仲山, 2009)、その妥当性に関しては今後いつその検討が必要である、と言える。そして彼らのこの新しいアプローチ、すなわち心的回転課題を用いて構成障害の要因あるいは構成行為の内的過程を解明しようというアプローチは、心的回転と構成行為(または構成障害)の研究の双方にとって、新しい地平が開かれる可能性がある、と思われる。というのは、第1に、心的回転の現象は他の現象と関係づけられることによって、その本態がいつそう明らかになると予想されるからであり、第2に、心的回転は、直接的には観測できない構成行為の内的過程を間接的に推定する数少ない有効な方法の1つと考えられるからである。

そこでまず本研究では、心的回転課題と実際に手で構成させる課題(構成課題)を用いて、それぞれにおける平面回転と奥行き回転の成績の差を見ることとした。心的回転課題において回転方向による成績差を見る理由は、第1に、それが心的操作の相違を示唆する(金森, 2004)からであり、第2に、その相違が構成行為の成否に関わると思われる(中村・田中・乾, 2003)からである。次に構成課題を実施するのは、第1に、回転方向による成績差が実際の構成行為においても表れるかどうかを見るためであり、第2に、両課題における成績差の比較検討が、心的回転と構成行為における心的操作の異同を検討する1つの材料になりうる、と思われるからである。

心的回転課題の刺激は文字（ひらがなと数字）とし、課題はそれが正立文字か鏡映文字かの判断を求めるものとする。文字は、心的回転の刺激としては物と身体器官の両方の性質をあわせ持つものである、と言える。というのは、その場合、制御対象は手指または書字動作であると同時に、客観的に産出される形態でもあるからである。構成課題は心的回転と同じ文字を使い、平面と奥行き両方向に回転した鏡映文字を書かせるものとする。鏡映文字を用いるのは、両課題間の難易度のバランスをとるためである。

以上のことから本研究の目的は、文字を刺激とした心的回転課題と鏡映書字課題のそれぞれにおける平面回転と奥行き回転の成績差を比較検討し、それを通して心的回転と構成行為における心的操作の異同を考察すること、である。

方 法

被 験 者

首都圏の大学の学生、男12名、女12名、計24名（範囲19—22歳）を被験者とした。いずれも右利きで、本実験の実施に支障のある運動障害、眼科的問題などを有せず、この種の実験を経験していない者であった。

心的回転課題

1. 練習試行

実験装置、実施方法などは本試行と同じであり（本試行の項参照）、異なるのは刺激（画像）がカタカナ「ア」であること、試行数が12であることの2点である。その結果、正答率の平均は72.6%（50.0—91.7%）であり、被験者全員が実験実施の方法を了解したと述べたので、本試行を実施した。

2. 本試行

17型TFT液晶ディスプレイ（EPSON製LD1754S）に、「か、す、は、も、よ、7」の6文字の正立文字または鏡映文字（刺激）を、1文字ずつ平面方向（前後軸のまわりの回転）または奥行き方向（水平軸のまわりの回転）に回転させた形で呈示し、それが正立文字か鏡映文字かの判断を求める。回転角度は、平面方向は時計回りに0、30、60、70、120、240、250、300、330度の9個とし、奥行き方向（上部を後方に倒す）もこれと同じとする（この回転角度は0度からの角度差を表すので、以下回転角度差と呼ぶことにする）。それらは、次のようにして決めた。まず0度から30度刻みの設定とするが、このうち奥行き回転の90度と270度は文字の形態が判別し難い（つぶれた形になる）ので、それぞれ70度と250度にし、次に奥行き回転の150度、180度、210度は、回転方向が判別し難いので、両回転とも除くことにした。こうして、文字（6）×正立文字・鏡映文字（2）×回転方向（2）×回転角度差（9）=216試行が得られた。この1人あたり全216試行を任意の順に呈示する。Figure 1に画像の例を示す。

実施に際しては、画像の中心と眼の高さおよび正中線が一致するように調整して被験者を座

らせる。画面と被験者の眼との距離は約60cmである。正立文字か鏡映文字かの判断の結果は、右手と左手の人差し指をそれぞれ小型ひらがなキーボード（テクノツール製TKBHR-A01）の2つのキー（AとL）の上に置き、被験者の半数は、正立文字と判断する場合はAを、鏡映文字と判断する場合はL（残り半数はその逆）を押して示す。キーを押した瞬間に当該文字が消え、次の文字が6000ms後に呈示される。なおキーの押し間違いを防ぐために、AとL以外のキーは塞いだ。

試行に先立って与えられる教示の要点は、文字が平面、奥行き2方向に回転して呈示されるという情報を与えることと、できる限り速く、正確にキーを押すよう促すことの2つである。

文字呈示からキーを押すまでの時間（反応時間）は、1/1000秒（ms）単位で測定した。

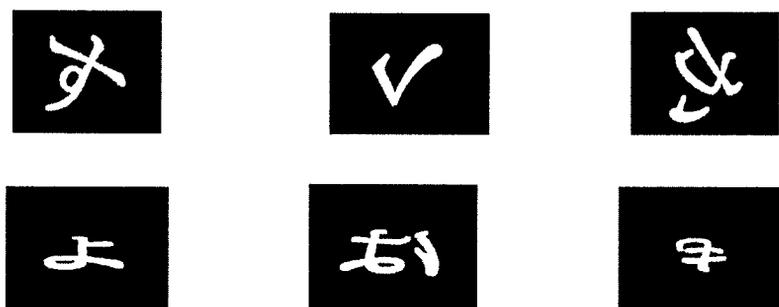


Figure 1 心的回転課題の例（実際の画像における枠の大きさは、縦横150mm、上段が平面回転、下段が奥行き回転）

3. 内省報告

本試行終了後、どのような方法で課題を遂行したかについての内省報告を求めた。

鏡映書字課題

1. 練習試行

実験用具、実施方法などは本試行と同じであり（本試行の項参照）、異なるのは文字が英字「R」であることと、試行数が1であることの2点である。被験者全員が実施方法を了解したと述べたので、本試行を実施した。

2. 本試行

心的回転課題で用いた6文字の鏡映文字を、縦182mm、横256mmの白紙の上に、鉛筆で書かせる。ただし、書かせるのは、それらを0度、平面方向に180度、奥行き方向に180度回転した鏡映文字である。したがって1人あたり鏡映文字（6）×回転（3）＝18試行となる。これらを任意の順に並べ、その順に構成させる。各試行の直前に文字、回転方向、回転角度差をアナウンスする。アナウンスから書字終了まで（書字時間）をストップウォッチで計測する。試行に先だてて与えられる教示の要点は、3種の回転の相違に留意するように伝えることと、できる限り速く、正確に書くよう促すことの2点である。

3. 内省報告

本試行終了後、どのような方法で課題を遂行したかについての内省報告を求めた。

実施順序

男半数と女半数が心的回転と鏡映書字課題の順で実施し、残り半数ずつがその逆の順で実施する。

結 果

心的回転課題

1. 正答数

心的回転課題における正答数の平均は、平面回転が102.4（正答率94.8%）、奥行き回転が78.1（正答率72.3%）であった。両者の差に関するt検定を行ったところ、有意であった ($t=4.08$, $df=46$, $p<.001$)。したがって、平面回転の正答数は奥行き回転の正答数よりも多い、と言える。

次に、心的回転課題における正答数の平均を、回転方向別×文字別にTable 1に示す。

Table 1に示す正答数に対する回転方向と文字の効果を検定するために、それらを要因とする分散分析を行った。その結果、回転方向 ($F(1,23)=99.32$, $p<.001$) の主効果と交互作用 ($F(5,23)=3.76$, $p<.005$) は有意であったが、文字の主効果は有意ではなかった。そこで、単純効果の検定を行ったところ、回転方向の効果に関しては、すべての文字において有意であった（「か」 $F=41.59$, 「す」 $F=66.73$, 「は」 $F=101.22$, 「も」 $F=68.14$, 「よ」 $F=69.57$, 「7」 $F=76.93$, いずれも $df=1$, $p<.001$ ）。また文字の効果に関しては、奥行き回転

Table 1 心的回転課題の正答数
(各セルの正答数は最大18)

| | 平面回転 | 奥行き回転 |
|---|------------|------------|
| か | 16.8 (1.5) | 13.7 (1.5) |
| す | 16.9 (1.5) | 13.0 (1.3) |
| は | 17.3 (1.5) | 12.4 (1.2) |
| も | 16.9 (1.4) | 12.9 (1.4) |
| よ | 17.4 (1.1) | 13.3 (1.6) |
| 7 | 17.1 (1.4) | 12.8 (1.4) |
| | 平均 (SD) | |

においては有意であった ($F(5,23)=4.31$, $p<.001$) が、平面回転においては有意ではなかったため、前者における文字に関して、Ryan法による多重比較を行った。その結果、「か」と「は」、「は」と「よ」のそれぞれ間に有意差があった (有意水準=.05)。したがって次のように言うことができる。すなわち、①奥行き回転における正答数は、すべての文字において平面回転におけるそれよりも少ない、②奥行き回転における文字による正答数の差は部分的に認められる、③平面回転においては文字による正答数の差はない。

さらに、心的回転課題の正答数を、回転方向別×回転角度差別にFigure 2に示す。Figure 2に示す正答数に対する回転方向と回転角度差の効果を検定するために、それらを要因とする分散分析を行った。その結果、回転方向 ($F(1,23)=99.32$, $p<.001$) と回転角度差 (F

(8.23) = 213.19, $p < .001$) の主効果, および交互作用 ($F(8.23) = 133.05, p < .001$) は, いずれも有意であった。そこで, 単純効果の検定を行ったところ, 回転方向の効果に関しては, 120度 ($F = 336.76, df = 1, p < .001$), 240度 ($F = 402.51, df = 1, p < .001$), および250度 ($F = 340.26, df = 1, p < .001$) において有意であった。また回転角度差の効果に関しては, 奥行き回転においては有意であった ($F(8.23) = 334.84, p < .001$) が, 平面回転においては有意ではなかったので, 前者における回転角度差に関して, Ryan法による多重比較を行った。その結果, 120度, 240度, 250度の3つの回転角度差(これら3つを大回転角度差群と呼ぶことにする。0度を起点とし, 奥行き方向への回転, それと反対方向への回転の双方から見て大きい角度差だからである)と, 他のすべての回転角度差(これらを小回転角度差群と呼ぶことにする)との間に有意差があった(有意水準 = .05)。

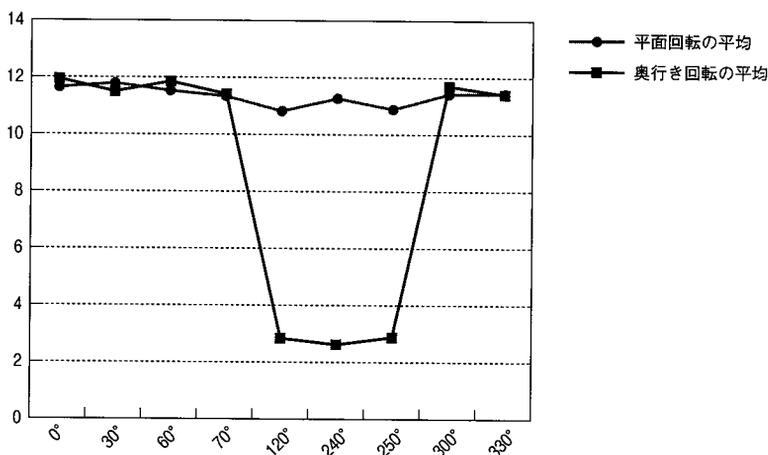


Figure 2 心的回転課題の正答数 (各回転角度差における正答数は最大12)
(縦軸が正答数, 横軸が回転角度差)

したがって次のように言うことができる。すなわち, ①奥行き回転における正答数は, 平面回転における正答数よりも少ない, ②奥行き回転における正答数の少なさは, 実際には同回転の大回転角度差群における少なさによる, ③奥行き回転の大回転角度差群における正答数は, 小回転角度差群における正答数よりも少ない, ④平面回転においては回転角度差による正答数の差はない。

2. 反応時間

心的回転課題における正答の反応時間の平均は, 平面回転が1011ms, 奥行き回転が947msであった。両者の差に関するt検定を行ったところ, 有意ではなかった。したがって, 両回転の反応時間に差はない, と言える。

次に, 心的回転課題における正答の反応時間を, 回転方向別および文字別にTable 2に示す。

Table 2に示す反応時間に対する回転方向と文字の効果を検定するために, それらを要因と

Table 2 心的回転課題の反応時間 (ms)

| | 平面回転 | 奥行き回転 |
|---|------------|-----------|
| か | 985 (299) | 919 (314) |
| す | 1020 (347) | 917 (356) |
| は | 1011 (327) | 929 (305) |
| も | 1014 (377) | 939 (355) |
| よ | 1042 (369) | 992 (417) |
| 7 | 992 (364) | 952 (362) |
| | 平均 (SD) | |

する分散分析を行った。その結果、回転方向の主効果は有意であった ($F(1.23) = 5.69, p < .05$) が、文字の主効果、および交互作用は有意ではなかった。したがって、次のように言うことができる。すなわち、①奥行き回転における反応時間は、文字別に見た場合には、回転角度差別に見た場合とは逆に、平面回転におけるそれよりも速い (短い)、②奥行き回転、平面回転とも、文字による反応時間の差は認められない。

さらに、心的回転課題における正答の反応時間の平均を、回転方向別×回転角度差別にFigure 3 に示す。

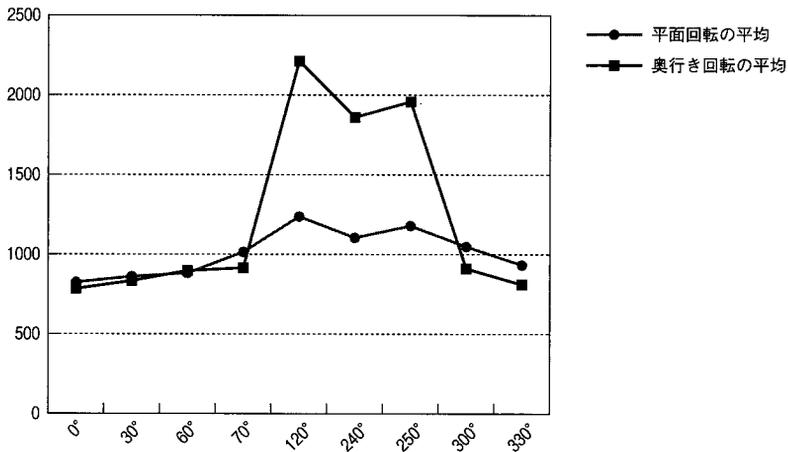


Figure 3 心的回転課題の反応時間 (ms)
(縦軸が反応時間、横軸が回転角度差)

Figure 3 に示す反応時間に対する回転方向と回転角度差の効果を検定するために、それらを要因とする分散分析を行った。その結果、回転方向 ($F(1.23) = 12.73, p < .005$) と回転角度差 ($F(8.23) = 14.77, p < .001$) の主効果、および交互作用 ($F(8.23) = 8.53, p < .001$) は、いずれも有意であった。そこで、単純効果の検定を行ったところ、回転方向の効果に関しては、120度 ($F=35.82, df=1, p < .001$)、240度 ($F=22.10, df=1, p < .001$)、および250度 ($F=23.25, df=1, p < .001$)、すなわち大回転角度差群において有意であった。また回転角度差の効果に関しては、奥行き回転においては有意であった ($F=22.94, df=8, p < .001$) が、平面回転においては有意ではなかったため、前者における回転角度差に関して、Ryan法による多重比較を行った。その結果、大回転角度差群と小回転角度差群との間に有意差があった (有意水準=.05)。

したがって次のように言うことができる。すなわち、①奥行き回転における反応時間は、平面回転における反応時間よりも遅い (長い)、②奥行き回転における反応時間の遅さは、実際

には同回転の大回転角度差群における遅さによる、③奥行き回転の大回転角度差群における反応時間は、同回転の小回転角度差群における反応時間よりも遅い、④平面回転においては、回転角度差による反応時間の差はない。

3. 内省報告

どのような方法で課題を実行したかという質問に対する回答は、内容的に3つの種類に分けることができる。これら各種類、各種類に該当する回答、および各回答に該当する人数（回答は各種類のそれぞれ毎に、1人1つの回答に割り当てた。ただし、該当する回答がなかった場合には人数の中に入らないことになる）を示せば、次のようになる。

(1) 回転させるイメージ

- ① 画像の文字（刺激）のイメージ（13人）
- ② 頭の中の文字のイメージ（4人）
- ③ 自己身体（視点、または頭）のイメージ（2人）

(2) 正立か鏡映かの判断の手がかり

- ① 文字の要素の左右関係（18人）
- ② 違和感（3人）
- ③ 印象（3人）

(3) 判断の際に比較対照される文字のモデル（典型的景観canonical view）

- ① 表から見た（正立文字の）イメージ（2人）
- ② 裏から見た（鏡映文字の）イメージ（1人）

なお、これらの他に、混乱したり、わからなくなったりしたら、宙で字を書いた（空書）、と回答した被験者が一人いた。

内省報告が示唆する限りでは、心的回転課題の遂行の方法は様々であるが、多くの場合、次のような方法がとられる、と言える。すなわち、画像の文字のイメージを頭の中で回転させて回転方向を正し（典型的景観に戻し）、正立か鏡映かの判断は文字の要素の左右を手がかりにする。その際、比較対照される文字のモデル（イメージ）は正立文字である。

鏡映書字課題

1. 正答数

鏡映書字課題における正答数の平均は11.13（正答率61.8%）であった。Table 3に、同課題における正答数の平均を回転別に示す。

Table 3 鏡映書字課題における正答数
(各セルの正答数は最大6)

| 0度回転 | 平面180度回転 | 奥行き180度回転 |
|-----------|-----------|-----------|
| 5.4 (1.3) | 2.3 (1.9) | 3.5 (1.6) |
| 平均 (SD) | | |

Table 3に示す正答数の差を検定するために分散分析を行った。その結果、有意差があった ($F(2,23) = 26.80, p < .001$) ので、Ryan法を用いて多重比較を行ったところ、すべて

の対に有意差があった (有意水準=.05)。したがって、0度回転、奥行き180度回転、平面180度回転の順に正答数が多い、と言える。

2. 書字時間

鏡映書字課題における書字時間を、回転別にTable 4に示す。Table 4に示す書字時間の差を検定するために分散分析を行った。その結果、有意差があった ($F(2,23) = 16.88, p < .001$)

ので、Ryan法を用いて多重比較を行ったところ、すべての対に有意差があった (有意水準=.05)。したがって、0度回転、奥行き180度回転、平面180度回転の順に書字時間が速い (短い)、と言える。

Table 4 鏡映書字課題における構成時間

| | | | (ms) |
|-------------|--------------|-------------|---------|
| 0度回転 | 平面180度回転 | 奥行き180度回転 | |
| 5387 (2672) | 12164 (5106) | 9368 (6420) | 平均 (SD) |

3. 内省報告

どのような方法で課題を実行したかという質問に対する回答は、内容的に3つの種類に分けることができる。それら各種類、各種類に該当する回答、および各回答に該当する人数 (回答は各種類のそれぞれ毎に、1人1つの回答に割り当てた。ただし、該当する回答がなかった場合には人数の中に入らないことになる) を示せば、次のようになる。

(1) 刺激文字のイメージの操作

- ① 頭の中 (イメージ上) で正立文字を回転させて鏡映文字をつくり、180度回転の場合はそれを平面または奥行き方向に回転させる (15人)。
- ② 要素を手がかりに鏡映文字をイメージし、それを回転させる (4人)。
- ③ ぱっと鏡をイメージし、それを回転させる (2人)。

(2) 書字

- ① 要素を違和感のあるように書き、それに書き足す (2人)。(うち1人は要素の方向を見失うことがある、と答えた)
- ② 勝手に手が動いている (2人)。
- ③ 要素 (または半分) を逆にし、それに合わせて書く (1人)。

(3) 書字の手がかりまたは補助

- ① 書くときの感触が手がかりになる (あるいはそれで確認できる) (1人)。
- ② 鏡のイメージなので右手と左手を同時に動かす (1人)。

なおこれらの他に、鏡映文字を書いていると、正立文字が浮かんで混乱することがあったという回答と、頭の中の作業に手の作業が加わり、混乱したという回答をした被験者がそれぞれ1人いた。

内省報告が示唆する限りでは、鏡映書字課題を遂行する際には、多くが刺激文字のイメージを頭の中で回転させて鏡映文字をつくり、180度回転の場合は、さらにそれを平面方向または奥行き方向に回転させる、という方法をとる。

4. 書字の誤りのパターン

すべての書字の誤りは、大きく2つのパターンに分けることができる。それらを回転別に Table 5 に示す。Table 5 によれば、いずれの回転においても、誤文字よりも誤回転の占める割合がかなり高い。

Table 5 書字の誤りのパターン

| | 0度回転 | 平面180度回転 | 奥行き180度回転 |
|-------------------|------|----------|-----------|
| 誤文字（要素相互の関係の誤り） | 2 | 11 | 11 |
| 誤回転（正立書字、回転方向の誤り） | 11 | 78 | 52 |

心的回転課題と鏡映書字課題の成績間の関連

心的回転と鏡映書字の両課題間の関連を見るために、両課題の正答数に関して、全正答数相互、平面回転の正答数相互、奥行き回転の正答数相互の3つの相関係数を求めたところ、高い相関はなかった（Pearsonの積率相関係数：それぞれ $r_s=0.111, 0.324, -0.034$ ）。次に両課題の反応時間と書字時間に関して、上と同じ対の相関係数を求めたところ、やはり高い相関はなかった（Pearsonの積率相関係数：それぞれ $r_s=0.102, 0.069, 0.140$ ）。

考 察

本実験では、大学生を対象として心的回転と鏡映書字の2の課題を実施した。まず前者の成績から述べる。

心的回転課題においては、成績を正答数と反応時間の2つの指標からとらえ、それらに対する回転方向（平面回転と奥行き回転）の効果（あるいは回転方向によるそれらの相違）を見た。

その1つの指標である正答数に関しては、回転方向別、回転方向別×文字別、回転方向別×回転角度差別のいずれから見ても、奥行き回転は平面回転より正答数が少なかった。この結果は、無意味物体を刺激とする実験において平面回転の正答率が奥行き回転よりも高いことを見出したRock, DiVita, & Barbeito (1981)の研究と同じであり、どちらも奥行き回転の難度の高さを示唆する、と言えよう。だとすれば、そのことは同回転にのみ文字による正答数の差がみられたことと関係があるのかも知れない。つまり、同回転の難度の高さが、文字の間にある微細な難度の差を浮き彫りにした可能性があるのではないか、ということであるが、この点を明らかにするのは、今後の課題である。

また正答数を回転方向別×回転角度差別に見た場合、平面回転においては回転角度差による正答数の差がなかったのに対して、奥行き回転においては大回転角度差群と小回転角度差群との間に正答数の差があり、前者が少なく、かつそれが奥行き回転の平面回転に対する全体的な正答数の少なさをもたらした。Gaylord & Matsh (1975), Hertzog, Vernon & Rypma (1993), お

よびWiedenbauer, Schmid, & Jansen-Osmann (2007)の研究によれば、回転角度差は誤答の主な要因である。彼らの研究が、回転角度差の大きさと心的回転課題の難度との直接的な結びつきを示すものだとすれば、本実験の奥行き回転における大回転角度差群の正答数の落ち込みは、奥行き回転の相対的な難度の高さを別の形で示唆している、と言うことができよう。

もう1つの指標である反応時間に関しては、回転方向別に見た場合は平面回転と奥行き回転の間に差はなく、回転方向別×文字別に見た場合は平面回転が遅く、回転方向別×回転角度差別に見た場合は奥行き回転が遅かった。平面回転と奥行き回転の反応時間のどちらが遅いのか(あるいは速いのか)、一致した見解は得られていない。前者が遅いとする研究(金森, 2004)もあり、後者が遅いとする研究(Parsons, 1987; Murray, 1997)もある。この相違は、刺激特性や課題の実施方法の相違なども関係していると思われる。そこでここでは、奥行き回転においてのみ、反応時間を遅延せしめる回転角度差の効果が認められ、したがって同回転の相対的な難度の高さが示唆される、と言うに留めておく。

また、反応時間を回転方向別×回転角度差別に見た場合は、平面回転においては回転角度差による反応時間の差がなかった(フラットな関数)のに対して、奥行き回転においては大回転角度差群と小回転角度差群との間には差があり、前者の反応時間が遅く、かつそれが奥行き回転の平面回転に対する全体的な反応時間の遅さをもたらした。回転角度差に対する反応時間の一次関数が心的回転の生起を示唆する(Wiedenbauer, Schmid, & Jansen-Osmann, 2007)のであるから、フラットな関数は心的回転以外の心的操作が生起していることを示唆する。たとえばそれは、刺激を同定するための部分的情報の抽出(Takano, 1989)である。本実験でも多くの被験者が、正立・鏡映の判断の際には文字の要素(部分)の左右を手がかりにした、と述べている。したがって、平面回転においては心的回転が生起していなかった、ということになる。このような判断の方法がとられたのは、1つには刺激(ひらがなと数字)の親和性が高かったからかも知れない。Corballis, Zbrodoff, Shetzer & Butler (1978)も、文字を用いた心的回転実験においてフラットな関数を見出している。これに対して奥行き回転においては、フラットな関数も一次関数も認められなかった。しかしながら、大回転角度差群と小回転角度差群とを比較し、前者の反応時間が遅いということは、反応時間を遅延せしめる回転角度差の効果が認められたということであり、そのことは同回転の難度が相対的に高いことを示唆し、かつ課題遂行の方法の1つとして心的回転が介在する、あるいは心的回転が作動する閾値を低める可能性を示唆するのではないか、と思われる。

これらのことから、奥行き回転は平面回転より難度が高い、すなわち処理負荷が高いこと、回転角度差が大きいことは処理負荷を高め、また処理負荷が高いことは心的回転が作動する閾値を低める可能性のあることが示唆されよう。

次に、鏡映書字課題の成績を、心的回転課題の成績と関連づけて述べる。鏡映書字課題の成績は、正答数と書字時間を指標とした。その結果、どちらの指標においても、0度回転、180度奥行き回転、180度平面回転の成績順であった。これに対して、心的回転課題の成績は回転

方向別×回転角度差別に見た場合には、平面回転、奥行き回転の順であった。鏡映書字課題の成績から0度回転を除き、回転方向によって両課題の成績を比べる（ただし、反応時間を書字時間に対応させる）と、順序が逆になる。すなわち鏡映書字課題においては、心的回転課題とは逆に平面回転の成績が低かった。この要因として、平面回転による左右関係の逆転ということが考えられる。

内省報告に示されているように、文字の要素の左右関係は、どちらの課題においても、一定の役割を担っていた。正立文字も鏡映文字も、平面回転をすると左右関係は逆になるが、奥行き回転をしても変化しない。このことは平面回転の成績にとつては不利な条件であると言えるが、要素の左右関係を弁別（同定）するだけで済む心的回転課題の場合と、それを構成しなければならない鏡映書字課題の場合とでは、その影響が異なると思われる。なぜなら、構成は弁別よりも高次で複雑な過程であり（仲山, 1984; 1985）、したがってより長い処理時間を要する、と思われるからである。つまり、平面回転の成績が相対的に低くなったのは、同回転にとつて不利な条件の影響が、より長い処理時間を要する鏡映書字課題において大きかったからだ、と考えることが可能である。

しかしながら両課題における成績の逆転の要因としては、他にもフィードバック制御の有無（鏡映書字課題では、幾人かが書く感触、あるいは手の動作に言及している）や、奥行き180度回転の特殊性（金森, 2004）などが考えられ、それらのいずれが真の要因であるかを確定するのは今後の課題である。

では、この回転方向による課題成績の逆転現象や課題成績間の相関の低さは、心的回転と構成行為との間に関連がないことを示しているだろうか。筆者は、それらの事実にも関わらず、両者には密接な関連があると考ええる。その理由は、第1に、心的回転課題において想定される仮想的な回転操作が鏡映書字課題においても認められ、それが同課題の遂行に本質的に重要な役割を果たしていると思われるからである。この回転操作は、実際のフィードバック信号に先行して実行される運動制御、すなわちフィードフォワード制御の機能を果たし（フィードフォワードは実際のフィードバック信号に先行するので「内的」フィードバックとも呼ばれる）（中村・田中・乾, 2003）、またその過程においては、運動指令から感覚信号への変換（Wolpart & Ghahramani, 2000）、あるいは運動指令の遠心性コピーに基づいて、身体器官の軌道の推定（宮下・下条, 1995）が行われる。

それが鏡映書字課題においても認められることを示唆する結果は、鏡映書字課題において2つの180度回転が0度回転よりも低成績であること、書字における誤りのパターンの圧倒的多数が誤回転であったこと、多くの被験者が書字に際してイメージの回転を行ったと述べていること、である。さらに書字における誤りのパターンのうち、誤文字が少数とはいえ認められたのは、回転操作が、きわめて親和性が高いはずのひらがなや数字の書字の構成それ自体をも阻害するほど大きな負荷を与えるものである、すなわち効果（ただしマイナスの）が大きいことを示唆していよう。

第2に、その仮想的な回転操作の目的は、標準刺激に対象となる刺激を合わせる、あるいは対象となる2つの刺激を揃える、言い換えると共通の座標軸に位置づける、ということだからである。すなわち、心的回転課題において想定されるその過程は、同時にあらゆる構成行為に不可欠の過程でもあるからである。

以上のことから、心的回転と構成行為の心的操作には、主として回転方向による成績順の逆転から推論される相違点と、仮想的な回転操作が本質的に重要な役割を果たすという共通点とが同時にあり得る、とすることができよう。

しかしながら、本実験には、条件設定に関わる次のような点が問題として残された。すなわち心的回転課題においては、刺激が物と身体器官の両方の性質をあわせ持ち、かつ親和性がきわめて高いひらがなと数字であったので、心的回転以外の多様な方法が採用されたと思われること、回転方向が被験者の判断に委ねられ、したがって客観的な方向と被験者が認識した方向とが一致していなかった可能性があることなどである。これらは心的回転を生起せしめる上で不利な条件であった、と思われる。また、両課題に関わるものとしては、心的回転課題において180度の回転角度差を設定していなかったため、特異性があるとされる同角度差における両課題の比較ができなかったこと、両課題の難易度を揃えることができなかったこと、などがあげられよう。

したがって今後、これらの条件をより限定した上で、あるいは各条件のそれぞれ毎に両課題間の関係を明確にする研究の蓄積が必要とされるであろう。それらを通して、心的回転と構成行為の間の区別と相互関係の問題を具体的に議論することができる、と思われる。

引用文献

- Corballis, M.C., Zbrodoff, N.J., Shetzer, L.I. & Butler, B. 1978 Decision about identity and orientation of rotated letters and digits. *Memory & Cognition*, 6, 98—107.
- Gaylord, S.A., & Matsh, G.R. 1975 Age differences in the speed of a cognitive process. *J. of Gerontology*, 30, 674—678.
- Hertzog, C., Vernon, M.C. & Rypma, B., 1993 Age differences in mental rotation task performance: the influence of speed/accuracy tradeoff. *J. of Gerontology: Psychological Sciences*, 48(3), 150—156.
- 金森庸浩 2004 心的回転における物体表象形成に関する実験的検討 関西学院大学博士論文
- 宮下保司, 下条信輔 (編) 1995 脳から心へ: 高次機能の解明に挑む 岩波書店
- Murray, J.E. 1997 Flipping and spinning: Spatial transformation procedures in the identification of rotated natural objects. *Memory & Cognition*, 25, 96—105.
- 中村真一郎・田中茂樹・乾敏郎 2003 指構成課題における身体順モデルの利用 *Cognitive Studies*, 10(1), 139—144.
- 仲山佳秀 1984 痙直型脳性麻痺児における構成障害: 認知的側面からの検討 *教育心理学研究*, 第32巻第4号, 1—9.
- 仲山佳秀 1985 脳性まひ児の視知覚の障害: 空間認識障害からの把握 *障害者問題研究*, 42, 49—56.

- 仲山佳秀 2009 構成障害の発現機序の検討：運動イメージの観点から 心理科学, 29(2), 46—54.
- Parsons,L.M. 1994 Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *J.of Experimental Psychology:Human perception and Performance*, 20(4), 709—730.
- Salthouse,T.A. 1985 Speed of behavior and its implications for cognition. In J.E.Birren & K.W.Schie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging*. 2nd ed.,pp. 400—426., New York:Van Nostrand Reinhold.
- 佐々木政人 1987 からだ：認識の原点 東京大学出版会
- 積山薫 1997 身体表象と空間認知 ナカニシヤ出版
- Sharps,M.J. 1990 A developmental approach to visual cognition in the elderly. In T.M.Hess (Ed.), *Aging and cognition:knowledge organization and utilization*.,pp. 297—341., Amsterdam:North-Holland.
- Shepard,R.N.& Metzler,J. 1971 Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*,Vol. 171, 701—703.
- 下條信輔 1981 メンタル・ローテーション実験をめぐって：イメージ研究の方法論の一考察 心理学評論, 24(1), 16—42.
- Steenbergen,B.,Nimwegen,M.van,& Céline,C. 2007 Solving a mental rotation task in congenital hemiparesis:motor imagery versus visual imagery. *Neuropsychologia*, 45, 3324—3328.
- Wiedenbauer,G.,Schmid,J.& Jansen-Osmann,P. 2007 Manual training of mental rotation. *European J.of Cognitive Psychology*, 19(1), 17—36.
- Wolpert,D.M.& Z.Ghahramani,Z. 2000 Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience*, 3, 1212—1217.